

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНОСТИ

И.Пригожин

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Методологические проблемы, Ежегодник 1986, с. 45-57.

I

С позиций классической науки четко разграничивалось то, что считалось простым, и то, что приходилось рассматривать как сложное. Никаких сомнений, например, не вызывала "простота" ньютоновских законов движения, идеального газа, химических реакций. Точно также казалась очевидной "сложность" биологических процессов и тем более человеческой деятельности в том виде, в каком она отображается в экономическом знании или городском планировании. Задачей классической науки было обнаружение некоторого более глубокого простого уровня даже в сложных системах. Речь идет об уровне детерминистических и обратимых во времени законов природы, для которых будущее и прошлое равноправны (примером могут служить волновые функции квантовой механики). Однако этот фундаментальный уровень оставался неуловимым.

Сегодня происходит глубокая концептуальная перестройка науки. Всюду обнаруживаются процессы эволюции и диверсификации (порождения разнообразия), неустойчивости. Мы давно уже знаем, что живем в плюралистическом мире, в котором сталкиваемся с явлениями как детерминистическими, так и стохастическими, как обратимыми, так и необратимыми.

Нам известны детерминистические явления, такие, как маятник без трения или обращение Луны вокруг Земли; более того, мы знаем, что движение маятника обратимо.

Однако другие процессы - диффузии или химических реакций - необратимы. Кроме того, мы обязаны допустить существование стохастических процессов, если хотим избежать парадокса, объясняющего многообразие природных явлений тем, что они были запрограммированы еще в эпоху "Большого взрыва". Что изменилось с начала этого столетия, так это наша оценка соотносительной значимости необратимости и обратимости, стохастичности и детерминизма [13, 15, 17].

Обратимся к примеру: долговременное (геохронологическое) изменение климата. Известно, что в прошлом климат существенно менялся. Последние 200-300 млн. лет преобладали климатический режим, совершенно непохожий на современный. На протяжении всего этого времени за исключением четвертичного периода, начавшегося порядка двух млн. лет назад, на суше практически отсутствовал ледниковый покров, а уровень моря был примерно на 80 м выше современного. Поразительную черту четвертичного периода составляет серия опледенений, развивавшихся со средней периодичностью сто тысяч лет. Каков источник столь серьезных изменений, сыгравших несомненно огромную роль в нашей истории? Нет никаких указаний на то, что они могли быть вызваны какими-то изменениями в поступлении солнечной энергии.

Изменение климата во времени представляет собой типичный "сложный процесс". Опять-таки, придерживаясь канонов классической физики, мы были бы склонны отнести эту сложность непосредственно к базисному уровню, включив в рассмотрение большое число переменных, от которых зависит температурный режим. При этом складывается нечто похожее на ситуацию действия закона "больших чисел", в которой именуются флуктуации, распределенные гауссовским образом.

Последние достижения в изучении поведения динамических систем позволяют уточнить число независимых переменных, входящих в дифференциальные уравнения, решение которых генерирует наблюдаемый временной ряд температуры. В результате такого анализа неожиданно выяснилось, что независимых переменных, определяющих климат, всего четыре [10]. Таким образом, мы не можем более объяснять наблюдаемую сложность процессами некоторого нижележащего уровня,

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНОСТИ

И.Пригожин

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
Методологические проблемы,
Ежегодник 1986, с. 45-57.

I

С позиций классической науки четко разграничивалось то, что считалось простым, и то, что приходилось рассматривать как сложное. Никаких сомнений, например, не вызывала "простота" ньютоновских законов движения, идеального газа,

химических реакций. Точно также казалась очевидной "сложность" биологических процессов и тем более человеческой деятельности в том виде, в каком она отображается в экономическом знании или городском планировании. Задачей классической науки было обнаружение некоторого более глубокого простого уровня даже в сложных системах. Речь идет об уровне детерминистических и обратимых во времени законов природы, для которых будущее и прошлое равноправны (примером могут служить волновые функции квантовой механики). Однако этот

фундаментальный уровень оставался неуловимым.

Сегодня происходит глубокая концептуальная перестройка науки. Всюду обнаруживаются процессы эволюции и деверсификации (порождения разнообразия), неустойчивости. Мы давно уже знаем, что живем в плюралистическом мире, в котором сталкиваемся с явлениями как детерминистическими, так и стохастическими, как обратимыми, так и необратимыми.

Нам известны детерминистические явления, такие, как маятник без

трения или обращение Луны вокруг Земли; более того, мы знаем, что движение маятника обратимо.

Однако другие процессы - диффузии или химических реакций - необратимы. Кроме того, мы обязаны допустить существование стохастических процессов, если хотим избежать парадокса, объясняющего многообразие природных явлений тем, что они были запрограммированы еще в эпоху "Большого взрыва". Что изменилось с начала этого столетия, так это наша оценка соотносительной значимости необратимости и обратимости,

стохастичности и детерминизма [13, 15, 17].

Обратимся к примеру:
долговременное
(геохронологическое) изменение
климата. Известно, что в прошлом
климат существенно менялся.
Последние 200-300 млн. лет
преобладал климатический режим,
совершенно непохожий на
современный. На протяжении всего
этого времени за исключением
четвертичного периода, начавшегося
порядка двух млн. лет назад, на суше
практически отсутствовал
ледниковый покров, а уровень моря
был примерно на 80 м выше

современного. Поразительную черту четвертичного периода составляет серия оледенений, развивавшихся со средней периодичностью сто тысяч лет. Каков источник столь серьезных изменений, сыгравших несомненно огромную роль в нашей истории? Нет никаких указаний на то, что они могли быть вызваны какими-то изменениями в поступлении солнечной энергии.

Изменение климата во времени представляет собой типичный "сложный процесс". Опять-таки, придерживаясь канонов классической физики, мы были бы склонны отнести эту сложность

непосредственно к базисному уровню, включив в рассмотрение большое число переменных, от которых зависит температурный режим. При этом складывается нечто похожее на ситуацию действия закона "больших чисел", в которой имеются флуктуации, распределенные гауссовским образом.

Последние достижения в изучении поведения динамических систем позволяют уточнить число независимых переменных, входящих в дифференциальные уравнения, решение которых генерирует наблюдаемый временной ряд

температуры. В результате такого рода анализа неожиданно выяснилось, что независимых переменных, определяющих климат, всего четыре [10]. Таким образом, мы не можем более объяснять наблюдаемую сложность процессами некоторого нижележащего уровня, включающими якобы много скрытых переменных. Наоборот, мы вынуждены признать внутреннюю сложность и непредсказуемость изменений системы климата.

Как было недавно установлено в совершенно другой области знания [2], электрическая активность мозга в глубоком сне, фиксируемая

электроэнцефалограммой, математически моделируется динамической системой из 5 переменных с фрактальным аттрактором. Это весьма примечательный результат, поскольку он показывает, что мозг действует как система, которой присуща внутренняя сложность и непредсказуемость изменений.

Именно эта неустойчивость позволяет усиливать сигналы, поступающие от сенсорной системы в состоянии бодрствования. Ясно, что динамическая сложность человеческого мозга не может быть случайностью. Как раз благодаря

своей неустойчивости он, должно быть, и прошел отбор. Возникает вопрос: не является ли биологическая эволюция историей динамической неустойчивости, которая, по-видимому, составляет существенный ингредиент творческого начала, присущего человеческому бытию?

Были и другие сюрпризы. Даже некоторые простейшие случаи механического движения типа упругого маятника (задача о колебаниях маятника с учетом упругости подвеса. - *Ред.*)

Обнаружили неожиданную сложность [11, 14], точно так же, как

и ряд простых химических реакций. Оказывается, дистанция, разделяющая "простое" и "сложное", "беспорядок" и "порядок", меньше, чем думали прежде.

Сложность не рассматривается более как исключительная черта биологии или наук о человеке и обществе. Она проникает и в физические науки, оказываясь феноменом, имеющим глубокие корни в законах природы.

По-видимому, эти новые результаты имеют решающее значение в том смысле, что если раньше для многих ученых неизвестное начиналось лишь в пограничных областях

физики (космология, элементарные частицы), то сегодня быстро возрастает интерес к макроскопической физике и химии, имеющим дело с явлениями соразмерного нам масштаба. Этот интерес, как мне кажется, обусловлен тремя обстоятельствами.

1. Как будет показано, он приводит к множеству глубоко новаторских технических приложений и, кроме того, к лучшему пониманию главных характеристик биосферы.
2. Появляется возможность переноса нового теоретического инструментария, разрабатываемого

в математической физике, в биологию и социально-гуманитарные науки. Тем самым размывается традиционное различие "точных" (hard) и "качественных" (soft) наук.

3. Главные черты сложности суть необратимость и стохастичность. Ныне эти понятия начинают проникать на фундаментальный уровень описания природы.

II

Можно утверждать, что в области физики и химии первой дисциплиной, столкнувшейся с

проблемой сложности, была термодинамика. Ее основной закон - так называемое второе начало - гласит, что в изолированных системах энтропия возрастает (более подробно об этом см. в [11, 13, 15, 17]).

Длительное время термодинамика интересовалась главным образом изолированными системами, находящимися в состоянии равновесия. Сегодня ее интерес сместился в сторону неравновесных систем, взаимодействующих со средой и обменивающихся с ней потоками энтропии. Это взаимодействие означает, что мы

имеем дело с "погруженными"
системами. Тем самым предмет
рассмотрения сразу сближается с
объектами вроде городов или живых
систем, которые могут
существовать только благодаря
погруженности в
соответствующую среду .

Отметим еще одно принципиальное отличие подобных систем от объектов классической механики. Предположим, что к Земле приближается некоторое чужеродное небесное тело. Произойдет необратимое изменение земной

орбиты, так как динамическая система не может "забыть" возмущающее воздействие. Тем более, что в данном случае нельзя ввести диссипацию.

Для сравнения напомним, что маятник с затуханием достигает равновесного состояния независимо от начальных условий.

Далее, когда система уходит достаточно далеко от равновесия, аттрактор, определяющий поведение системы вблизи равновесия, может сделаться неустойчивым вследствие потока вещества и энергии, направляемого нами в систему. При

этом неравновесность становится источником упорядоченности; могут появиться новые типы аттракторов более сложной структуры и вместе с ними новая пространственно-временная организация системы. Рассмотрим два широко изучаемых сегодня примера.

Так называемая неустойчивость Бенара представляет собой удивительный пример неустойчивости, вызывающей спонтанную самоорганизацию; неустойчивость возникает благодаря вертикальному градиенту температуры в горизонтальном слое жидкости. В нижней поверхности

жидкости поддерживается заданная температура, которая выше температуры верхнего слоя. В результате таких граничных условий имеется поток тепла, направленный снизу вверх. При небольших перепадах температуры перенос тепла обеспечивается механизмом теплопроводности без всякой конвекции, однако, когда наложенный температурный градиент достигает порогового значения, стационарное состояние (состояние "покоя" жидкости) становится неустойчивым. Возникает конвекция, соответствующая согласованному движению

огромного числа молекул, что увеличивает интенсивность переноса тепла. В подходящих условиях конвекция приводит к возникновению сложной пространственной организации системы.

К этому же явлению можно подойти с иной точки зрения. Имеются два основных фактора: поток тепла и гравитация. В равновесных условиях сила тяжести едва ли может вызвать какие-либо эффекты в тонком, порядка сантиметра, слое жидкости. Напротив, вдали от равновесия гравитация вызывает образование макроскопических структур.

Неравновесная материя гораздо более чувствительна по отношению к своей среде, чем равновесная. Как я люблю говорить, в равновесии материя "слепа"; Вдали от равновесия она может начать "видеть".

Следующий пример - колебательные химические реакции. Пусть изучается реакция, ход которой контролируется путем введения необходимых реактивов и удаления отходов. Предположим, что два компонента реакции представляют собой соответственно красные и синие молекулы, взятые в сравнимых

количествах. Естественно ожидать, что будет наблюдаться некая смесь синего и красного цветов и, быть может, случайные вкрапления красных или синих пятен. Однако на самом деле происходит нечто иное. Для целого класса таких реакций наблюдаемая картина такова, что весь объем последовательно становится то красным, то синим, то снова красным: мы имеем "химические часы". Это противоречит нашему интуитивному представлению о химических реакциях.

Мы привыкли считать, что в химических реакциях участвуют

беспорядочно движущиеся и хаотически сталкивающиеся молекулы. Но для того чтобы синхронизировать их периодические превращения, молекулы должны обладать способностью "сообщаться". Иначе говоря, мы встречаемся здесь с новыми, надмолекулярными масштабами, как во времени, так и в пространстве, порожденными химическими процессами.

Основное условие возникновения таких химических колебаний - наличие авто- или кросскалалитических связей, обуславливающих нелинейность

процесса. Аналогичные процессы описаны во множестве современных работ по биохимии. Вспомним, например, что нуклеиновые кислоты производят белки, которые, в свою очередь, способствуют образованию нуклеиновых кислот. Налицо автокаталитическая петля, включая белки и нуклеиновые кислоты.

Нелинейность тесно связана с ситуациями, возникающими вдали от равновесия. Для них характерно наличие множества неустойчивых состояний, в противоположность к близким к равновесию ситуациям, где имеется всего одно устойчивое состояние. Эта множественность

видна на "бифуркационной диаграмме", изображающей решение какой-либо нелинейной задачи в зависимости от параметра бифуркации (например, концентрацию одного из реагентов в зависимости от времени пребывания молекул в химическом реакторе). При некоторых критических значениях этого параметра возникают новые решения. Более того, вблизи бифуркации система имеет две ветви решения "на выбор". Поэтому можно ожидать, что здесь существенные флуктуации.

Отмеченная способность систем с диссипацией забывать возмущения

связана с наличием аттракторов. Самые элементарные аттракторы представляют собой точки и линии. Но есть и более сложные структуры, образуемые множеством точек. Их распределение может быть достаточно плотным для того, чтобы охарактеризовать это множество как имеющее фрактальную размерность [20].

Такие системы обладают уникальными свойствами, напоминающими турбулентность, знакомую каждому из его повседневного опыта. В них соединяются вместе флуктуации и устойчивость. Система

притягивается к аттрактору, но так как он состоит из целого множества точек, можно ожидать значительные флуктуации. Часто даже говорят о "притягивающем хаосе". Эти сильные флуктуации связаны с большой чувствительностью к начальным условиям.

Расстояние между близкими фазовыми траекториями со временем экспоненциально растет.

Притягивающий хаос уже наблюдали в ряде случаев, в том числе в химических и гидродинамических процессах.

Значение этих новых идей выходит далеко за пределы собственно физики и химии. Здесь приводились в качестве примеров долговременное изменение климата и электрическая активность мозга.

Нет сомнения, что новые понятия отражают сущностные черты окружающего мира, изучение которых позволит моделировать сложное поведение, демонстрируемое системами в экологии или экономике.

III

Изучение сложных явлений в физике и химии формирует в настоящее время новые области соприкосновения "чистых" и "прикладных" исследований. Эти области развиваются сегодня столь стремительно, что я могу лишь перечислить несколько примеров.

Характерной чертой систем далеких от равновесия является возможность мультиустойчивости, когда при заданных граничных условиях число устойчивых состояний превышает единицу [11].

Достоинство упоминания проявление этого свойства в оптоэлектронике. Когерентный световой луч может индуцировать в резонансной полости более одного значения интенсивности проходящего света [1, 8]. Мультиустойчивость оказывается здесь не чем иным, как оптическим аналогом гистерезиса - явления, хорошо известного в магнетизме.

Устойчивые состояния системы зависят от ее истории, а не только от граничных условий. При данном значении интенсивности падающего света, интенсивность проходящего света будет соответствовать или

прозрачному, или непрозрачному состоянию в зависимости от того, с какой стороны входит это значение в зону мультиустойчивости. Таким образом, эта зона действует подобно бинарной памяти.

Оптическая память имеет следующие потенциальные преимущества: быстроедействие возрастает на три порядка (с 10^{-12} до 10^{-9} сек): есть возможность параллельной работы с множеством информационных каналов, так как оптический элемент сечением 10^{-6} м может легко обработать сразу 10^6 каналов. И что быть может еще важнее, эти компоненты могут

функционировать как оптические транзисторы.

Интересно, что явление мультиустойчивости встречается во многих задачах, в частности микробиологической кинетики. Простым примером, который был исследован моими коллегами в Брюсселе, может служить взаимодействие между клетками опухоли и иммунной системы, в результате которого первые погибают [17]. Большинство усилий в исследовании раковой болезни направлено на раскрытие механизма превращения нормальной клетки в раковую. Мы же, напротив,

сконцентрировались на изучении реакции организма на заданную популяцию раковых клеток. Как минимум динамическая модель должна воспроизводить процесс формирования комплексов из раковых и цитотоксичных клеток с последующей регенерацией последних после уничтожения ими раковых клеток. В этой ситуации могут образоваться как одно, так и несколько устойчивых состояний. Было замечено, что каждая цитотоксичная клетка может связываться более чем с одной клеткой опухоли, что обуславливает сильную нелинейность процессов.

Как следствия надо ожидать множественных состояний. С такой точки зрения одним из магистральных направлений в онкологии могло бы быть изучение перехода неактивной формы рака в активную (вирулентную).

Другое недавнее исследование касается процесса возникновения трещин и свойства пластичности в материалах под воздействием механического напряжения [21]. Хорошо известно, что любой материал содержит дефекты. Под действием напряжения дислокация может начать двигаться и взаимодействовать. Здесь бросается в

глаза очевидная аналогия с уравнениями химической кинетики, которые широко изучались для случая систем, находящихся вдали от равновесия. В напряженной среде может возникнуть такое пространственное распределение дислокаций, при котором они скапливаются в некоторых областях. Эти области, наблюдавшиеся в эксперименте, чреваты образованием микротрещин и определяют пластические свойства материала [3, 19].

Я хотел бы также упомянуть о двух типах проблем, в которых наряду с нелинейностью важны и

флуктуации. Теоретически в системе с точкой ветвления, где одно устойчивое решение переходит в пару устойчивых решений, вероятности выбора одной или другой ветви одинаковы. Однако абсолютно симметричное решение - лишь предельный случай. На практике мы имеем дело с "несовершенными" бифуркациями, что может явиться решающим фактором выбора того или иного результирующего состояния. Классическим примером служит отбор спиральных макромолекул (сахаров и аминокислот. - Ред.), где ничтожной разницы в энергии связи

(между лево- и
правополяризованными молекулами.
--- Ред.) могло оказаться достаточно
для предпочтительной селекции. В
своей основе это обусловлено
возможностью поляризации
флуктуаций вблизи точки ветвления
[7].

Мы начинаем понимать также и
другие явления, имеющие огромное
потенциальное значение, например,
процессы горения и воспламенения,
где детерминистическое описание
терпит неудачу [12]. Наблюдается
следующая картина: начальный
индуктивный режим, изменяющийся
очень медленно, сменяется бурным

взрывоподобным поведением. Благодаря наличию индуктивной фазы процесса важную роль приобретают флуктуации: наблюдается статистический разброс момента воспламенения, а не какое-то одно определенное значение.

Аномальные флуктуации свойственны многим биологическим явлениям. В частности, они наблюдались в неравномерности темпов роста молодых мужских и женских особей в период достижения ими стадии половой зрелости. Это также указывает на существование автокаталитического эффекта с длительным индуктивным

периодом, подобным тому, который наблюдается в процессах горения. Было бы очень заманчиво, наконец, применить эти идеи к процессам обучения, которые, как показал Ж.Пиаже, носят ступенчатый характер и имеют, по всей видимости, длительные индуктивные периоды.

IV

Открытие индуктивной роли необратимых процессов в физике и химии, осознание их значения для понимания физических явлений и процессов биосферы заставляют нас пересмотреть микроскопический

смысл необратимости. Традиционно считалось, что необратимость возникает лишь на макроскопическом уровне и предполагалось, что она есть следствие незнания точного динамического состояния системы. В то же время на фундаментальном микроуровне необратимость отсутствует и вопрос о стреле времени не возникает.

Эта проблема тесно связана с проблемой перехода от детерминистического и обратимого во времени описания систем в классической и квантовой механике к такому их описанию, в котором

вероятность и необратимость играют фундаментальную роль. Всего несколько лет назад она казалась неразрешимой. Два типа описания - динамическое и термодинамическое - казались разделенными непреодолимой преградой.

Ныне мы начинаем видеть путь преодоления этой трудности, на котором я хотел бы коротко остановиться. Описание движения системы в классической механике можно представить как точечное преобразование в фазовом пространстве координат и импульсов. Другой способ представления динамической

эволюции связан с рассмотрением множества точек, занимающих определенный объем фазового пространства. Характерная черта систем классической механики состоит в том, что этот объем (или, пользуясь математическим термином, его "мера") сохраняется во времени. Это вовсе не исключает довольно сложные случаи. Фазовый объем может довольно сильно деформироваться, даже разделяться на мелкие части. Такое разрушение начального "простого" объема наглядно показывает картину приближения к равновесию, в котором все эти точки равномерно

распределены по фазовому пространству.

Классическая физика показывает, что сохранение фазового объема тесно связано с сохранением информации. Именно по этой причине в классической динамике информация строго сохраняется. Начальные условия могут быть восстановлены. Действительно, все части первоначального простого объема можно вернуть на исходное место простым обращением направления времени.

Мы видим, сколь непохожим выглядит мир в термодинамическом

описании. В своей механической модели мир напоминает музей, в котором сохраняется все, включая информацию. Мир термодинамики - это мир процессов, уничтожающих и создающих информацию; фазовый объем более не сохраняется.

Вспомним, к примеру, как пропадают, не оставляя никаких следов, неоднородности температуры.

Новое заключается в том, что для вполне определенного класса динамических систем мы можем теперь переходить от одного типа описания к другому. Этим классом является как раз тот, у которого

начальный фазовый объем со временем сильно деформируется и распадается на части. Такие системы весьма устойчивы с динамической точки зрения. Более того, в таких системах в действительности реализуемы не любые начальные условия, но лишь те, которые ведут к будущему равновесному состоянию [9, 13, 15---17].

Теперь мы можем сформулировать основную идею второго начала термодинамики - мы живем в мире неустойчивых динамических систем.

Если бы мир был устроен по образцу, сконструированному для обратимых,

вечных систем Галилео Галилеем и Исааком Ньютоном, в нем не нашлось бы места для необратимых явлений, таких, как химические реакции или биологические процессы.

У неустойчивых систем с выделенным направлением времени начальный объем расплывается по фазовому пространству. Поэтому мы не можем налагать такие начальные условия, которые заставят ансамбль точек, движущихся по фазовым траекториям, сконцентрироваться в одной точке. Будущее остается открытым.

Смысл, который несет в себе второе начало, состоит, таким образом, вовсе не в узаконении нашего незнания и нашей субъективности. Напротив, оно дает существенную информацию о всеобщей структуре физического мира.

В начале этой лекции упоминалось о фундаментальном уровне физического описания. Теперь мы должны принимать в расчет второе начало термодинамики даже на этом уровне. Поэтому он не может состоять ни из фазовых траекторий, ни из волновых функций, удовлетворяющих

детерминистическим уравнениям, в которых Будущее уже содержится в Настоящем.

Поскольку действительна термодинамика, постольку фундаментальные объекты физической теории должны допускать описание не столь подробное, как траектории или волновые функции. Эти новые объекты с течением времени эволюционируют к равновесному состоянию в замкнутых системах или при наличии подходящих условий к "диссипативным структурам". Мы, однако, не можем

углубляться далее в этот увлекательный предмет.

Суммируем основные выводы. Вселенная имеет историю, в ходе которой через механизмы бифуркаций порождается сложность. Эти механизмы действуют в далеких от равновесия условиях вроде тех, которые реализуются в биосфере Земли. Они же, возможно, играли важную роль на ранней стадии эволюции Вселенной, когда согласно современным представлениям вещество и гравитация были сильно связаны.

Неравновесная физика находится сейчас в стадии бурного роста. Я пытался показать здесь, чем вызван интерес к ней. Эта область не только дает новые прикладные результаты, имеющие непосредственное научно-техническое значение, но и открывает новые перспективы в развитии самих оснований физики, что также приведет, по-видимому, к новым технологическим достижениям в следующем столетии.

Рациональность не может более отождествляться с "определенностью", а вероятность - с незнанием, как это имело место в

классическом естествознании. На всех уровнях - в физике, в биологии [4], моделировании человеческого поведения [5] - существенную роль играют вероятность и необратимость. Мы являемся свидетелями нового сближения двух "видений мира" - одного, основанного на опыте науки, и другого, формирующегося на личностном уровне, будь то путем интроспекции или из экзистенциального опыта.

Зигмунд Фрейд сказал как-то, что история науки есть история отчуждения: после Коперника мы больше не обитаем в центре

Вселенной, после Дарвина человек более не отличается от других животных; после самого Фрейда сознание предстает как лишь "надводная" часть скрытой от нас сложной реальности.

Любопытно, что мы пришли теперь к противоположному взгляду. При столь большой роли в человеческой жизни проблем ее продолжительности и свободы человеческое существование представляется нам самой удивительной реализацией основных законов природы.

Литература

1. Abraham E., Smith S.D. Optical stability and related devices // Rep. Prog. Phys. 1982, vol. 45, p. 815---885.
2. Babloyantz A., Salazar J.M., Nicolis C. Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle // Phys. Lett. A. 1985, vol. 111, N 3, p. 152---156.
3. Continuum models of discrete systems. Ed. by Brulin O., Hsieh R.K.T. Amsterdam, North-Holland, 1981, vol. 4, p. 241---257.
4. Deneubourg J.L., Pasteels J.M., Verhaeghe J.C. Probabilistic behaviour in Ants: A strategy for errors? // J. Theor. Biol., 1983, vol. 105, N 2, p. 259---271.
5. Environment and planning. B. (Spec. Issue, 1985, vol. 12, N 1, p. 1---138.
6. Oscillation and travelling waves in chemical systems // Ed. By Fields R.J., Burger M. N.Y.: Wiley, 1985. XX, 681 p.
7. Kondepudi D.K., Nelson G.W. Chiral symmetry breaking in nonequilibrium

- systems // Phys. Rev. Lett. 1983, vol. 50, N 14, p. 1023---1026.
8. Lugiato L.A. Theory of optical bistability // Progress in optics. Ed. by Wolf E. Amsterdam, North-Holland, 1984, vol. 21, p. 71---216.
9. Martinez S., Tirapegui E. Markov process and entropy associated to a reversible evolution // Phys. Lett. A., 1983, vol. 95, N 3/4, p. 143---145.
10. Nicolis C., Nicolis G. Is there a climatic attractor? // Nature. 1983, vol. 311, p. 529--532.
11. Nicolis G., Prigogin I. Self-organization in nonequilibrium systems. N.Y., Wiley, 1977. (Рус. пер.: Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М., Мир, 1979, 512 с.).

12. Nicolis G., Baras F., Malek-Mansour M. Stochastic aspects of nonequilibrium transitions in chemical systems // Nonequilibrium dynamics in chemical systems. Ed. by Vidal C., Pacault A. N.Y., Springer, 1984, p. 184---199.
13. Nicolis G., Prigogine I. Exploring complexity. Munich: Piper (в печати).
14. Petrosky T.Y. Chaos and irreversibility in a conservative nonlinear dynamical system with a few degrees of freedom // Phys. Rev. A., 1984, vol. 29, N 4, p. 2078---2091.
15. {Prigogine I. From being to becoming. San Francisco: Freeman, 1979. (Рус. пер.: Пригожин И. От существующего к возникающему. М., Наука, 1985. 327 с.
16. Prigogine I., Courbage M. Intrinsic randomness and intrinsic irreversibility in classical dynamical systems // Proc. Nat. Acad. Sci. US, 1983, vol. 80, N 8, p. 2412--
-6.

17. Prigogine I., Lefever R. Stability problems in cancer growth and nucleation // Comp. Biochem. and Phisiol. B., 1980, vol. 67, N 3, p. 389---393.
18. Prigogine I., Stengers I. La nouvelle Alliance. P.: Gallimard, 1979. (Рус. пер.: Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., Прогресс, 1986, 430 с.
19. Tabata T., Fujita I. et al. Dislocation behavior and the formation of persistent slip bands in fatigued copper single crystals observed by high-voltage electron microscopy // Philos. Mag. A., 1983, vol. 47, p. 841.
20. Tomita K. The significance of the concept "chaos" // Progr. Theor. Phys. Suppl., 1984, N 79, p. 1---25.
21. Walgraef D., Aifantis E.C. Dislocation patterning in fatigued metals as a result of dynamical instabilities // J. Appl. Phys., 1985, vol. 58, N 2, p. 688---691.